

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-529344

(P2004-529344A)

(43) 公表日 平成16年9月24日(2004. 9. 24)

(51) Int. Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

G O 1 D 5/249

G O 1 D 5/249

P

2 F O 7 7

G O 1 D 5/30

G O 1 D 5/30

F

2 F 1 0 3

G O 1 D 5/38

G O 1 D 5/30

U

G O 1 D 5/36

K

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 45 頁)

(21) 出願番号 特願2002-581930 (P2002-581930)
 (86) (22) 出願日 平成14年4月11日 (2002. 4. 11)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年10月14日 (2003. 10. 14)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2002/001629
 (87) 国際公開番号 W02002/084223
 (87) 国際公開日 平成14年10月24日 (2002. 10. 24)
 (31) 優先権主張番号 0109057.0
 (32) 優先日 平成13年4月11日 (2001. 4. 11)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

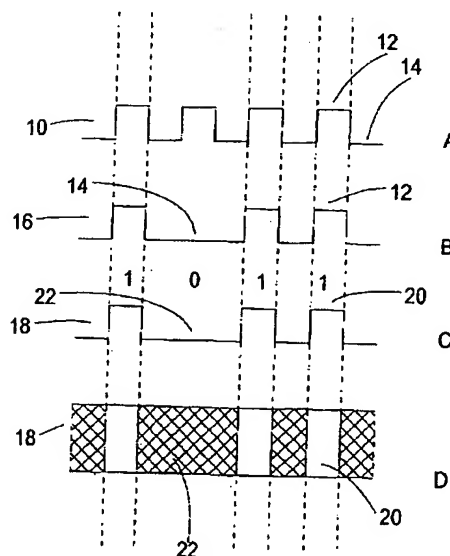
(71) 出願人 391002306
 レニショウ パブリック リミテッド カ
 ンパニー
 RENISHAW PUBLIC LIM
 ITED COMPANY
 英国 グロスターシャー州 ワットソーアン
 ダーエッジ ニューミルズ (番地なし)
 (74) 代理人 100077481
 弁理士 谷 義一
 (74) 代理人 100088915
 弁理士 阿部 和夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アブソリュート位置測定法

(57) 【要約】

アブソリュート測定スケール (18) は、光反射ライン (12) と非光反射ライン (14) とが交番するインクリメンタルスケール (10) を具える。ここで、インクリメンタルスケールには、反射ラインの除去 (22) によって分散コードワード形態の絶対データが組み込まれている。コードワードは、スケールが回文式かつ循環式となるよう配列される。ルックアップテーブルを用い、スケールから抽出したアブソリュート位置データをルックアップテーブル内のアブソリュートコードワードと比較することで、粗いアブソリュートデータを決定する。アブソリュート位置は、抽出したデータ内の第1コードワードのスタート位置に粗いアブソリュート位置を組み合わせることで決定される。アブソリュート位置をインクリメンタル位置に組み合わせることによって、スケールピッチ内にアブソリュート位置を定めることができる。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 の特性を有するラインおよび第 2 の特性を有して概ね交番するラインの列を具備するインクリメンタルスケールのトラックを具えた測定スケールであって、前記インクリメンタルスケールのトラック内に、分散したコードワードの形態のアブソリュート位置データが組み込まれていることを特徴とする測定スケール。

【請求項 2】

第 1 の特性を有する前記ラインは光反射性または光透過性ラインであり、第 2 の特性を有する前記ラインは非光反射性または非光透過性ラインである請求項 1 に係る測定スケール。

10

【請求項 3】

前記特性の一方を有するラインを追加もしくは少なくし、該ラインが前記特性の他方を持つ場合に比較して前記コードワードを形成するパターンとなるようにすることにより、前記インクリメンタルスケールのトラック内に前記アブソリュートデータが組み込まれている請求項 1 または請求項 2 に係る測定スケール。

【請求項 4】

前記インクリメンタルスケールのトラック内の前記ラインの幅または間隔を変えることで、前記インクリメンタルスケールのトラック内に前記アブソリュートデータが組み込まれてなる請求項 1 または請求項 2 に係る測定スケール。

【請求項 5】

前記第 1 または第 2 の特性を有する前記ラインが前記スケールの幅をほぼ横切って延在している請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに係る測定スケール。

20

【請求項 6】

前記スケール上の前記アブソリュートデータは回文式である請求項 1 ないし請求項 5 のいずれかに係る測定スケール。

【請求項 7】

各コードワードの始点はスタートシンボルによってマーキングされ、各スタートシンボルを等しくしてなる請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに係る測定スケール。

【請求項 8】

前記コードワードはスケールのある範囲にわたって N 個の特有位置を定義し、第 (N+1) 番目の位置が第 1 番目の位置と同等となるよう前記範囲が繰り返されてなる請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかに係る測定スケール。

30

【請求項 9】

前記アブソリュートデータはバイナリコードからなる請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかに係る測定スケール。

【請求項 10】

各コードワードはほぼ等しい数の 1 および 0 を有する請求項 9 に係る測定スケール。

【請求項 11】

各コードワードは 6 個以下の連続した 1 または 0 の並びを含んでいる請求項 9 に係る測定スケール。

40

【請求項 12】

所定範囲のスケールのどの範囲内でもほぼ等しい数の 1 があるように前記コードワードが配列されてなる請求項 9 に係る測定スケール。

【請求項 13】

互いに相対的に移動可能な測定スケールおよびスケールリーダを具え、前記測定スケールは、第 1 の特性を有して第 2 の特性を有するラインに概ね交番するラインの列と、分散したコードワードの形態でインクリメンタルスケールのトラック内に組み込まれたアブソリュート位置データとを具え、前記スケールリーダは、前記スケールを照射する光源と、インクリメンタル位置を決定するためのインクリメンタル読取ヘッドと、前記アブソリュート位置を決定するための検出

50

器システムおよびイメージングシステムとを含む、アブソリュート位置の測定システム。

【請求項 14】

第1の特性を有する前記ラインは光反射性または光透過性ラインであり、第2の特性を有する前記ラインは非光反射性または非光透過性ラインである請求項13に係るアブソリュート位置の測定システム。

【請求項 15】

前記インクリメンタル位置を決定するのに用いられる読取ヘッドはフィルタリング読取ヘッドである請求項13または請求項14に係るアブソリュート位置の測定システム。

【請求項 16】

前記検出器システムはリニアアレイの画素を具える請求項13ないし請求項15のいずれかに係るアブソリュート位置の測定システム。 10

【請求項 17】

マイクロレンズアレイを用いて前記スケールを前記検出器システム上に結像させる請求項13ないし請求項16のいずれかに係るアブソリュート位置の測定システム。

【請求項 18】

各アブソリュートデータビットは1または0の値を有し、
各アブソリュートデータビット間に0の値をもつクロックビットがあり、
前記スケールのあるビットがアブソリュートデータビットであるかクロックビットであるかを、当該ビットのいずれの側でも(m+1)番目(mは任意の偶数)までのビットの値を測定することで決定し、
これらビットの値を互いに加算して、当該加算値が所定値より小である場合に当該ビットがアブソリュートビットであるとされるようにした請求項13ないし請求項17のいずれかに係るアブソリュート位置の測定システム。 20

【請求項 19】

各コードワードの始点はスタートシンボルによってマーキングされ、前記スケール上でアブソリュートコードワードの位置を決めるために前記スケール上の前記スタートシンボルの識別を用いる請求項13ないし請求項18のいずれかに係る測定システム。

【請求項 20】

ルックアップテーブルを用い、前記スケールから抽出したアブソリュート位置データを前記ルックアップテーブル内のアブソリュートコードワードと比較することによって、粗いアブソリュート位置の決定を行う請求項13ないし請求項19のいずれかに係る測定システム。 30

【請求項 21】

前記ルックアップテーブル内の前記コードワードと前記スケールから抽出した前記コードワードとの整合性の良さを、抽出データのnビットのブロックの並びを前記ルックアップテーブル内のnビットと比較することによって決定するものであって、
抽出データの各ビットを、前記ルックアップテーブル内の前記コードワードにおいて対応するビットが1であれば反転し、
抽出データのnビットの値を互いに加算し、
当該加算値が小であれば前記整合性が良いとする、
請求項20に係るアブソリュート位置の測定システム。 40

【請求項 22】

前記粗いアブソリュート位置を、前記検出器システムによって抽出されたデータ内の第1コードワードのスタート位置および前記検出器システムによって抽出されたデータ内の第1の完全なデータビットの位置に組み合わせることによって、一インクリメンタルスケールピッチの範囲内に対し前記アブソリュート位置を決定可能である請求項20または請求項21に係るアブソリュート位置の測定システム。

【請求項 23】

前記アブソリュート位置をインクリメンタル位置に組み合わせることによって、スケールピッチの端数の範囲内に対し前記アブソリュート位置を決定可能である請求項22に係る 50

アブソリュート位置の測定システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体のアブソリュート位置の測定法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

インクリメンタル位置エンコーダは2物体の相対位置を測定するための装置である。一般的には、2物体の一方にスケールが、他方に読取ヘッドが取り付けられ、スケールは規則的に間隔を置いて同等のマーキングをその上に有している。読取ヘッドはスケール上に投光し、スケールの構成に従って光が反射または透過する。反射または透過光から、読取ヘッドが信号列を発生し、2物体の相対変位を示すインクリメンタルの計数値を生成するのに用いることができる。

10

【0003】

読取ヘッドはいくつかの電子的補間値を提供し、スケール上のマーキングの直接的計数によって得られるものよりも分解能を高くすることができる。いくつかの場合、出力はアナログ量（しばしば、位相が90度ずれた2つの正弦波（two "sinusoidal" in "quadrature"））であり、これによって読取ヘッド外の電子回路による補間が可能となる。インクリメンタルエンコーダからはスケールに沿った読取ヘッドの絶対位置を知ることができない。

【0004】

20

アブソリュートエンコーダは一般に、擬似乱数シーケンス（pseudorandom "sequence"）または離散的な（discrete）コードワードの形態でデータが書かれたスケールを具えている。スケール上を読取ヘッドが通過するときこのデータを読み取ることで、読取ヘッドはその絶対位置を決定することができる。

【0005】

ハイブリッドのインクリメンタル・アブソリュート位置エンコーダというものもある。インクリメンタルエンコーダはアブソリュートエンコーダよりも分解能度高く作製できるので、多くのアブソリュートエンコーダには分離したインクリメンタルチャネルも組み込まれている。アブソリュートチャネルは、インクリメンタルチャネルの少なくとも1周期に対して正確な絶対位置を与える。インクリメンタルチャネルの補間は、分解能を細かくする要求に対して、インクリメンタルチャネルの周期内の位置を与える。両者を組み合わせることで、2つのシステムが分解能の高い絶対位置を与える。しかしながら、アブソリュートチャネルおよびインクリメンタルチャネルは分離したトラック内にあるので、インクリメンタルおよびアブソリュート位置の組み合わせ時に、読取ヘッドのヨーイングによって誤差が生じ得る。さらに、位置を定める際には、スケールを正しい姿勢にすることでインクリメンタルおよびアブソリュートトラックがそれぞれの読取ヘッドに位置合わせされるようにしなければならない。

30

【0006】

ハイブリッドのインクリメンタル・アブソリュート位置エンコーダは特許文献1に開示されており、ここでは擬似乱数コードでなるアブソリュートチャネルとインクリメンタルチャネルとが組み合わせられて単一の合成チャネルを形成している。

40

【0007】

【特許文献1】

欧州特許第0503716号明細書

【特許文献2】

欧州特許第0207121号明細書

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の第1の形態は、第1の特性を有して第2の特性を有するラインに概ね交番するラ

50

インの列を具備するインクリメンタルスケールのトラックを具えた測定スケールであって、前記インクリメンタルスケールのトラック内に、分散したコードワードの形態のアブソリュート位置データが組み込まれていることを特徴とする測定スケールを提供する。

【0009】

ここで好適には、第1の特性を有する前記ラインは光反射性または光透過性ラインであり、第2の特性を有する前記ラインは非光反射性または非光透過性ラインである。

【0010】

好適には、前記特性の一方を有するラインを追加もしくは少なくし、該ラインが前記特性の他方を持つ場合に比較して前記コードワードを形成するパターンとなるようにすることにより、前記インクリメンタルスケールのトラック内に前記アブソリュートデータが組み込まれる。あるいは、前記インクリメンタルスケールのトラック内の前記ラインの幅または間隔を変えることで、前記インクリメンタルスケールのトラック内に前記アブソリュートデータが組み込まれる。

10

【0011】

好適には、前記第1または第2の特性を有する前記ラインが前記スケールの幅をほぼ横切って延在する。前記スケール上の前記アブソリュートデータを回文式とすることができる。

【0012】

アブソリュートデータを分散したコードワードに分け、各コードワードの始点が等しいスタートシンボルによってマークされていてもよい。アブソリュートデータは、コードワードおよびスタートシンボルの双方についてバイナリコードを含んでいてもよい。

20

【0013】

好適には、前記コードワードはスケールのある範囲にわたってN個の特有位置を定義し、第(N+1)番目の位置が第1番目の位置等と同等となるよう前記範囲が繰り返される。

【0014】

本発明の第2の形態は、互いに相対的に移動可能な測定スケールおよびスケールリーダを具え、

前記測定スケールは、第1の特性を有して第2の特性を有するラインに概ね交番するラインと、分散したコードワードの形態でインクリメンタルスケールのトラック内に組み込まれたアブソリュート位置データとを具え、

30

前記スケールリーダは、前記スケールを照射する光源と、インクリメンタル位置を決定するためのインクリメンタル読取ヘッドと、前記アブソリュート位置を決定するための検出器システムおよびイメージングシステムとを含む、アブソリュート位置の測定システムを提供する。

【0015】

好適には、前記インクリメンタル位置を決定するのに用いられる読取ヘッドはフィルタリング読取ヘッドである。

【0016】

好適には、各アブソリュートデータビットは1または0の値を有し、各アブソリュートデータビット間に0の値をもつクロックビットがあり；前記スケールのあるビットがアブソリュートデータビットであるかクロックビットであるかを、当該ビットのいずれの側でも(m+1)番目(mは任意の偶数)までのビットの値を測定することで決定し、これらビットの値を互いに加算して、当該加算値が所定値より小である場合に当該ビットがアブソリュートビットであるとされるようにする。

40

【0017】

好適には、ルックアップテーブルを用い、前記スケールから抽出したアブソリュート位置データを前記ルックアップテーブル内のアブソリュートコードワードと比較することによって、粗いアブソリュート位置の決定を行う。前記粗いアブソリュート位置を、前記検出器システムによって抽出されたデータ内の第1コードワードのスタート位置および前記検

50

出器システムによって抽出されたデータ内の第1の完全なデータビットの位置に組み合わせることによって、一インクリメンタルスケールピッチの範囲内に対し前記アブソリュート位置を決定可能である。前記アブソリュート位置をインクリメンタル位置に組み合わせることによって、スケールピッチの端数の範囲内に対し前記アブソリュート位置を決定可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

添付の図面を参照し、本発明の好適な実施形態を例として説明する。

【0019】

図1Aはインクリメンタルスケール10のある範囲を示している。そのインクリメンタルスケールは、反射ライン12と非反射ライン14との繰返しパターンを有している。図1Bはアブソリュートスケール16のある範囲を示している。このスケールもまた、反射ライン12と非反射ライン14とを具えており、それぞれがアブソリュートデータのビットを表し、それらが組み合わせられて絶対位置を定義するコードを形成している。

【0020】

図1Cおよび図1Dは、図1Aおよび図1Bのインクリメンタルおよびアブソリュートスケールの組み合わせ18を示している。1ビットのアブソリュートデータはインクリメンタルスケールのピッチに組み入れられる。この例では、バイナリの符号化が行われており、従って「1」と「0」との二つの状態を取り得る。アブソリュートスケールにおいて状態「1」であるときは、インクリメンタルスケールの反射ラインはその元の状態20のままとなる。状態「0」であるときは、22で示すようにインクリメンタルスケールの反射ラインが除去される。

【0021】

インクリメンタルパターンを部分的に除去するとインクリメンタルチャネルからの信号が劣化するが、しかしダメージがスケールに沿って一貫していれば (consistent) その効果は重大ではない。この例では、インクリメンタルスケールの反射ラインが除去されるとインクリメンタル信号が下がり、バックグラウンド光もまた同じ比率で下がる。しかしながら、その代わりに反射ラインが付加される場合には、同じ量だけインクリメンタル信号が下がり、バックグラウンド光は増すことになる。

【0022】

インクリメンタルラインを付加または除去することなく、アブソリュートデータをインクリメンタルスケールに組み入れることもできる。代わりにラインの幅またはライン間の距離を変化させてもよいのである。

【0023】

アブソリュートデータがインクリメンタルスケールに組み入れられるので、スケールはプリズム的 (prismatic) なものとなり得る。これは、従来知られていたハイブリッドのインクリメンタルおよびアブソリュートスケールのように平行なデータトラックを用いる代わりに、図1Dに見られるように幅に沿って一様なものであることを意味する。これは、「平行トラック」システムの3つの欠点を解決する。第1には、スケールに対しその周りのどこにでも読取ヘッドを取り付けることができるようになることである。第2には、互いに位相を合わせて平行トラックを保持する必要がないために、読取ヘッドのヨーイングが重大なものとならないことである。第3には、スケールに対する読取ヘッド横方向のオフセットの公差に制限がないことである。

【0024】

インクリメンタルスケールに組み入れられるアブソリュートデータは回文式 (palindromic) となるように設計されている。これは、コードの並びをいずれの端から読んでも、スケール上のアブソリュートデータが正確に等しくなることを意味する。図2Aはスケール上のコードワードAおよびBを示している。スケールが180度回転した場合でも、図2Bに示すように、スケールは同じである。コードワードBは元のAと等しく、同じ位置にある一方、コードワードAは元のBと等しく、また同じ位置にある。これにより、スケール

10

20

30

40

50

ルをどの向きとしても表面に取り付けることが可能となり、プログラミングを行う必要や読取ヘッドの向きを変更する必要がなくなる。

【0025】

スケール上のアブソリュートデータは、数メートルなどのある範囲にわたって特徴位置を規定する。その長さを越えると継ぎ目なくコーディングを繰り返し、コーディングが始点および終点を持たないようにする。スケールがその始めから終わりまでの範囲に沿ってN個の特徴位置を規定しているのであれば、第(N+1)番目の位置のものを第1位置のものと等しくし、第(N+2)番目の位置のものを第2位置のものと等しくするなどにより、スケールは循環式のものとなる。スケールコードの1サイクルの長さは繰返し長として知ることができる。繰返し長より長いスケール範囲を用いてもよいが、それに沿って形成される位置は特徴的なものではなくなる。図3Aに示すように、スケールの全長は範囲dにおいて特徴位置X、Yを形成している。これらの位置は範囲d2において繰り返される。

10

【0026】

サイクリックなコーディングにより、スケールを連続的に製造し、長尺のものをストックしておくことができる。その後どの範囲で裁断されても、その全長にわたって有効なコーディングが含まれることになる。例えば、図3Bは循環的に繰り返されるある範囲dをもつスケールの範囲を示している。長さLの裁断を行う場合、どこで裁断しても連続スケールを形成する。

【0027】

インクリメンタルスケールのピッチ毎にアブソリュートデータの1ビットがある。ビットはグループ化されてコードワードおよびスタートシンボルをなす。各スタートシンボルは等しく、各コードワードの開始をマークするのに役立つのに対し、コードワードは絶対位置を定義するのに用いられる。スタートシンボルの選択に次のような制限がある。つまり、スタートシンボルについて選択した並びが、どのコードワード内にも現れてはならないことである。さもなければ、コードワードの部分がスタートシンボルとして誤認識されてしまうことになる。さらに、スタートシンボルの開始部分を終端にもつコードワードがないことであり、逆もまた同様である。数ビット分、コードワードの位置が誤解釈され得るからである。

20

【0028】

スケールが回文式かつ循環式の双方であるためには、スタートシンボルもまた回文式でなければならない。加えて、繰り返されるコードワードをもつことなく、ある繰返し範囲内で2つのコードワードだけを回文式とすることができる。図4Aおよび図4Bに示すスケール18は双方とも、繰返し範囲dをもつ循環式かつ回文式のものである。図4Aに示すスケールは2つの回文式コードワード「ABA」および「LML」を有し、範囲dにおいては繰り返されるコードワードをもたない。図4Bに示すスケールは3つの回文式コードワード「ABA」、「FGF」および「LML」を有している。しかし、「FGF」は繰返し範囲dでスケールに2回現れている。

30

【0029】

使用されるコードワードがインクリメンタルチャネルの測定精度を低下させないようにするためには、様々な方策がある。これら方策のいくつかには、インクリメンタル信号に悪影響を及ぼすコードワードを使用しないことが含まれる。

40

【0030】

第1の方策は、1の数と0の数とが等しくないコードワードを使用しないことである。例えば、16ビットのコードワードが丁度8個の1と8個の0とを含んでいることである。これにより、読取ヘッドがスケールをトラバースするときのインクリメンタル信号のサイズを一定とすることができる。コードワードが7から9個の1および0をもつようにすることで、この制限を緩和することも可能であり、さらに広い範囲とすることもできる。

【0031】

第2の方策は、1または0の並びが所定個数を越えるストリングを含むコードワードを使

50

用しないことである。例えば、1の並びの最大個数を6個とすることができ、好ましくは4個とすることができる。これらの長く一様な並びは、読取ヘッドがこれを通過するとき、90度位相のずれた2つの正弦波信号によって形成されるインクリメンタルリサージュ (incremental *Lissajous) に瞬間的な偏りを生じさせる。

【0032】

第3の方策は、使用されないコードワードを含まないことである。インクリメンタルチャネルに及ぼすアブソリュートデータの影響を最小限にするためには、インクリメンタルチャネルの読み取りウィンドウの範囲 (一般的には50ビット長) にわたってスケールが一樣に見えなければならない。これは、スケールに沿ってコードワードの順序を再アレンジし、50個の連続ビットのいずれの並びにおいても、可能な限り同数に近い個数の1 (0 10 についても同じ) をもつようにすることで実現される。

【0033】

スケールを読むのに使用される読取ヘッドは、スケールに照射を行うための少なくとも一つの光源と、インクリメンタルおよびアブソリュート位置を決定するための少なくとも一つの検出器とを具える。

【0034】

単純化した形態の読取ヘッド54およびスケール18が図8に示されている。スケールのインクリメンタル部分を読むために、光源LS1、割り出し格子 (index *grating) 52 および検出器 (例えばフォトダイオードアレイ) 50が備えられている。スケールのアブソリュート部分を読むために、光源LS2、結像レンズ (imaging *lens) 25および検出器 (例えばリニアイメージセンサ) 26が備えられている。 20

【0035】

分離した検出器が用いられてもよいし、あるいはその代わりに、両検出器が一チップ上に組み込まれていてもよい (すなわちアブソリュートおよびインクリメンタル位置の双方を同じ画素が検出するようにしてもよい)。同様に、共通または分離した光源およびレンズアレイが用いられてもよい。

【0036】

インクリメンタル位置を決定する上で、特許文献2に開示されたようなフィルタリング読取ヘッドを使用することが適している。かかる読取ヘッドにおいては、スケール上の各点が検出器に正弦波状の縁 (fringe) を生成する。検出器での縁のそれぞれは、スケール上の多くの点によって生成される。スケールの一部が失われた場合、検出器での信号は僅かに劣化するであろうが、この効果は均され、周波数および正弦形状は同じままである。スケールの基本周波数のみが検出され、スケールの失われた部分によって生じる高調波は濾波される。 30

【0037】

このようにフィルタリング読取ヘッドを使用することで、非回折性 (non-diffraction *quality) のスケールを用いることが可能となり、選択されたスケールマーキングが失われ、または追加されたときにも、読取ヘッドがスケールの一ピッチ内でインクリメンタル位置を決定することができるようになる。よってフィルタリング読取ヘッドは、あたかも純粹なインクリメンタルスケールであるかのように、アブソリュートおよびインクリメンタルのハイブリッドスケールを読むことが可能となる。 40

【0038】

アブソリュート位置を決定するために、画素のリニアアレイからなる光学式検出器システムを用いることができる。各画素の最大寸法はナイキスト規範 (Nyquist *criterion) によって設定されるが、より小さい画素を用いるのが好ましい。

【0039】

図6に示すように、検出器26 (例えば光学検出器システム) 上にスケール18を結像するために、マイクロレンズアレイ27を用いることができる。各レンズ28は実際には一対のレンズ28A、28Bであり、これらは連続画像を生成する正立像化システム (erect *imaging *system) として作用する。マイクロレンズアレイを使用することで、スケール 50

18および検出器26間の作動距離が従来の結像システム (imaging system) よりかなり小さくなる。

【0040】

アブソリュートデータは、ハイブリッドのアブソリュートおよびインクリメンタルスケールから抽出されなければならない。個々の画素の値がデータビットを表しているか否かを決定するためにテストを要する。アブソリュートデータは元のインクリメンタルスケールの反射ライン上に組み入れられるだけである。これらのデータビットは今、反射ラインが除去されているか、またはそのまま残されているかによって、0または1の値を有している。インクリメンタルスケール上の元の非反射ラインは変わっていない。これらは0の値を有し、クロックビットとして参照される。各データビット間にクロックビットがある。

10

【0041】

典型的なスケール18は、図5に示すように、 $40\mu\text{m}$ のピッチを有し、検出器上でピッチあたり例えば5.12画素をもつものとして行うことができる。そして、スケールと検出器との間で光学的に等倍率 (unity optical magnification) を有するものとして行うことができる。従って、検出器上の2.56画素毎にデータビット (「1」または「0」) とクロックビット (C) とのいずれかが存在することになる。テストされる画素 (P) がデータビットを表している場合、Pの一方の側部にある (m+1) 番目の各位置がクロックビットとなる。従って、次の画素位置

..., (-5×2.56) , (-3×2.56) , (-1×2.56) , $(+1 \times 2.56)$, $(+3 \times 2.56)$, $(+5 \times 2.56)$, ...
にクロックビットが存在する。

20

【0042】

端数の画素は存在しないので、次の画素

-23, -18, -13, -8, -3, +3, +8, +13, +18, +23
がテスト対象の画素に対するクロックデータに最も近くなる。

【0043】

これらの位置 (すなわち「1」と「0」との間) の値は互いに加算される。総計が小さいほど、画素がクロックビットを表している蓋然性が高く、従ってテスト対象の画素がデータビットを表している蓋然性が高くなる。正確な倍率を知ることはできないので (例えば読取ヘッドの取り付け高さ (rideheight) に起因した振動による)、テスト対象画素のある距離内でクロックビットをサーチすることだけが有用である。テスト対象画素からあまり離れてクロックビットをサーチすると、倍率誤差に起因して真の位置と一致しない (out-of-step) 結果となってしまう。

30

【0044】

この方法によって画像中に第1データビットの位置を決定することはできない。このデータビットのいずれかのサイドで十分な画素の読み取りが行えないからである。同じ推論により、この方法によって画像中に最終データビットを配置することはできない。画像の中央にさらに向かうデータビットが上記プロセスによって決定され、さらに、倍率が一定と仮定して、各端のデータビットを読み出すことが可能となる。各データビット間の画素の数が今や知られているからである。

【0045】

この段階で、抽出されたデータのブロックが生成される。図7のフロー図は、粗いアブソリュート位置を、抽出されたアブソリュートデータからどのように決定できるかの概略である。この抽出されたアブソリュートデータのブロック32は、4コードワード分を少し超えるデータと、少なくとも3つのスタートシンボルとを含む。各スタートシンボルは等しく、本例では9ビット長である。抽出されたデータがスキャンされ (34)、9ビットのブロック毎にスタートシンボルの並びと比較される (36)。9ビットのブロックのデータと整合性 (match) が良いかは、スタートシンボルの並びにおけるその対応ビットが1である場合、データブロックの各ビットを反転することによって判定される。ブロックにおける全9ビットの値が加算され、その結果が整合性の良さであり (38)、値が小さいほど整合性がよい。スタートシンボルが正確に間隔を置いたものでなければ (すなわち

40

50

各スタートシンボル間の一つのコードワードに対して正確に)、画像は悪いものとなる。この場合、画像は廃棄され、新たな画像30に対してははじめからプロセスを再開する。

【0046】

一旦スタートシンボルが見つければ(40)、抽出データ内の3つの完全なコードワードの配置が計算される。これは、読取ヘッドのメモリに恒久的にストアされ、3つのコードワードをデコードするのに用いられるルックアップテーブルを用いることによって行うことができる。ルックアップテーブル内の3つの連続したワードの各シリーズは画像の3つのワードと比較される(42)。それぞれの場合において、スタートシンボルの計算についてと同じ方法で、整合性の良さが計算される(44)。ルックアップテーブル内で整合性が最良の位置が、読取ヘッドの粗いアブソリュートデータを与える。2番目に整合性が良いものの整合性の良さの率もまたストアされ、さらにこの率は上記粗い位置の信頼性を判定するのに用いられる(46)。整合性最良のものが2番目に良いものより僅かに良いだけであれば、報告されていた粗い位置は信頼できないものとなる。これに対して、整合性最良のものが2番目に良いものよりかなり良ければ、信頼性の度合いも高くなる。この値にスレッシュホールドを適用し、読取ヘッドが粗いアブソリュート位置48を計算するのにそのデータを用いるか、あるいはその結果を廃棄して新たな画像30に対し再開するか、を決定することができる。

10

【0047】

データが十分に信頼できると判断されたとすると、最終ステップではアブソリュート位置を計算する。4ピースのデータを要する。これらは、(a) ルックアップテーブルからの粗位置(スケール上の最も近いコードワードに対して)、(b) 抽出データ内の最初のワードの開始位置(最も近いスケールピッチに対して)、(c) 元の画像内の最初の完全データビットの開始位置(最も近い検出器画素に対して)、および、(d) インクリメンタルチャネルからのリサージュの位相(解像度の単位に対して)である。

20

【0048】

(a) および(b) は最も近いスケールピッチに対する読取ヘッドのアブソリュート位置を計算するのに十分である。(d) は所要の最終解像度に対する1スケールピッチ内の位置を決定するのに用いられる。しかしながら、この情報単独では、位置スケールピッチの位置誤差を取り得る。(c) はこれをチェックし、必要に応じて位置を補正するのに十分な情報を含んでいる。

30

【0049】

本発明は、光反射型スケールの代わりに光透過型スケールを用いても実施できる。

【0050】

この実施形態ではリニアスケールおよび読取ヘッドについて述べたが、本発明はロータリスケールあるいは2次元スケールに対しても好適なものである。

【0051】

さらに、スケールはバイナリコーディングに限られない。多値(Multi-level)コーディングを用いることもできる。例えば、クロームをデポジットしたガラスプレートをスケールが備えている場合、クロックビットに対してはガラスを透明なままにしておき、「0」のデータのビットに対しては中間の濃さのクロームを、「1」のデータのビットに対しては最高の濃さのクロームを適用することで、コードを作製することができる。あるいは、「0」のデータのビットが破線を備え、「1」のデータのビットが実線を備えるものでもよい。

40

【0052】

本発明はまた、例えば容量型あるいは磁気スケールなど、非光学式のスケールに対しても好適である。

【図面の簡単な説明】

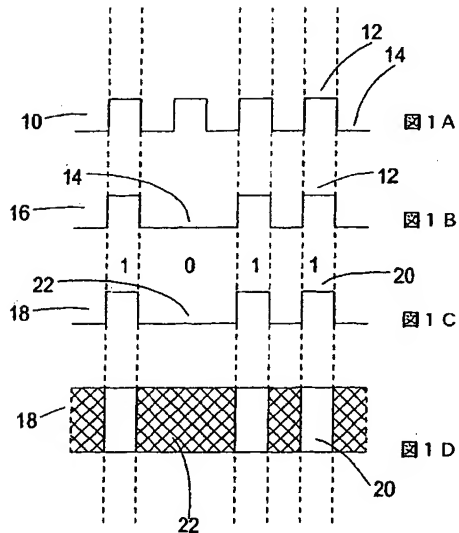
【0053】

【図1】図1A～図1Dはインクリメンタルスケール、アブソリュートスケールおよびハイブリッドスケールの模式的説明図である。

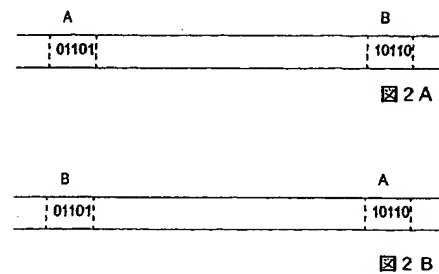
50

- 【図 2】図 2 A および図 2 B は回文式スケール上のコードワードの模式的説明図である。
- 【図 3】図 3 A および図 3 B はスケールの循環性 (cyclic nature) を示す。
- 【図 4】図 4 A および図 4 B は繰り返し長さあたりそれぞれ 2 および 3 の回文式コードワードをもつ回文式および循環式スケールの模式的説明図である。
- 【図 5】ハイブリッドスケールおよび、読取ヘッド内の結像光学素子 (imaging optics) からの画素列の模式的説明図である。
- 【図 6】マイクロレンズアレイである。
- 【図 7】粗いアブソリュート位置を決定するための処理に関するフロー図である。
- 【図 8】読取ヘッドおよびスケールの模式的説明図である。

【図 1】



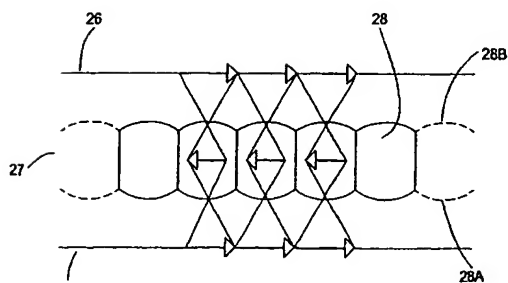
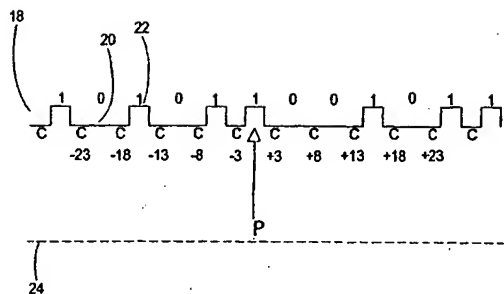
【図 2】



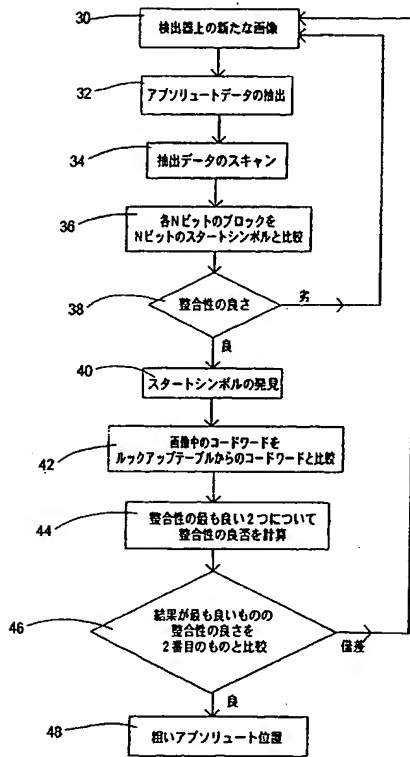
【图 4】



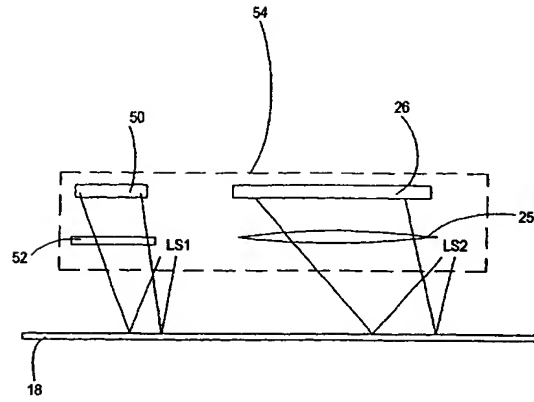
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
24 October 2002 (24.10.2002)

PCT

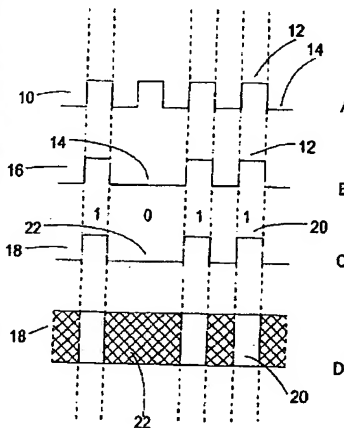
(10) International Publication Number
WO 02/084223 A1

- (51) International Patent Classification: G01D 5/347, S245
(21) International Application Number: PCT/GB02/01629
(22) International Filing Date: 11 April 2002 (11.04.2002)
(25) Filing Language: English
(26) Publication Language: English
(30) Priority Data: 0109057.0 11 April 2001 (11.04.2001) GB
(71) Applicant (for all designated States except US): RENISHAW PLC (GB); New Mills, Wotton-under-Edge, Gloucestershire GL12 8JR (GB).
- (72) Inventor: and
(75) Inventor/Applicant (for US only): GORDON-DEN-GRAM, John, Robert (GB); Kingswell, Marshfield, Chippingham, Wiltshire SN14 8NX (GB).
(74) Agents: JACKSON, John, Timothy et al.; Renishaw PLC, Patent Dept., New Mills, Wotton-Under-Edge, Gloucestershire GL12 8JR (GB).
(81) Designated States (national): AU, AG, AI, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GR, GU, HK, IL, IN, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NI, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, RU, SA, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Continued on next page]

(54) Title: ABSOLUTE POSITION MEASUREMENT

WO 02/084223 A1



(57) Abstract: An absolute measurement scale (18) comprises an incremental scale (10) with light reflecting lines (12) alternating with non-light reflecting lines (14) in which absolute data, in the form of discrete endwords, is embedded in the incremental scale by removing light reflecting lines (22). The endwords are arranged such that the scale is palindromic and cyclic. A look-up table is used to determine a coarse absolute position by comparing absolute position data extracted from the scale with absolute endwords in the look-up table. The absolute position is determined by combining the coarse absolute position with the position of the start of the first endword in the data extracted. The absolute position may be determined to within a scale pitch by combining the absolute position with the incremental position.

WO 02/084223 A1

(84) Designated States (regions): ARIPO patent (GH, GM, KI, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
 Russian patent (AM, AZ, BY, KZ, MD, RU, TJ, TM),
 European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR,
 GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent
 (BH, BJ, CF, CG, CI, CM, GN, GU, IQ, GW, ML, MR,
 NI, SN, TD, TG).

Publishers:

— with international search report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette

Declaration under Rule 4.17:

— of inventorship (Rule 4.17(h)) for US only

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

ABSOLUTE POSITION MEASUREMENT

Field of the Invention

- 5 The present invention relates to the measurement of the absolute position of an object.

Description of Prior Art

- 10 An incremental position encoder is a device for measuring the relative position of two objects. Typically a scale is attached to one of the objects and a readhead to the other, the scale having regularly spaced identical markings on it. The readhead projects
15 light onto the scale which, depending on the configuration of the scale, is then either reflected or transmitted. From the reflected or transmitted light, the readhead generates a series of signals which may be used to generate an incremental count indicative of the
20 relative displacement of the two objects. The readhead may provide some electronic interpolation such that the resolution is higher than would be achieved by direct counting of the markings on the scale. In some cases the outputs are analogue (often two sinusoidal in
25 quadrature) to allow electronics external to the readhead to perform the interpolation. An incremental encoder has no knowledge of the readhead's absolute position along the scale.
- 30 An absolute encoder typically comprises a scale with data written on it in the form of a pseudorandom sequence or discrete codewords. By reading this data as the readhead passes over the scale the readhead can determine its absolute position.

CONFIRMATION COPY

WO 02/044223

PCT/GB02/01629

2

Hybrid incremental absolute position encoders also exist. As it is possible to make incremental encoders with finer resolution than absolute encoders, many absolute encoders also incorporate separate incremental channels. The absolute channel gives absolute position accurate to at least one period of the incremental channel. Interpolation of the incremental channel gives position within the period of the incremental channel to the desired fine resolution. Combined together, the two systems give absolute position to a fine resolution. However, as the absolute channel and the incremental channel are in separate tracks, yawing of the readhead can result in errors when combining the incremental and absolute position. Furthermore, when fixed in position the scale must be in the correct orientation such that the incremental and absolute tracks are aligned with the respective readheads.

A hybrid incremental absolute position encoder is disclosed in European Patent No. 0503716 in which the absolute channel consisting of a pseudo-random code and incremental channel are combined to form a single composite channel.

25 Summary of the Invention

A first aspect of the present invention provides a measurement scale comprising:

an incremental scale track comprising a series of lines having a first property; generally alternating with lines having a second property; characterised in that absolute position data is embedded in the incremental scale track in the form of discrete codewords.

WO 02/08423

PCT/GB02/01629

3

Preferably the lines having a first property are light reflecting or light transmitting and wherein the lines having a second property are non-reflecting or non-transmitting.

5

Preferably extra or fewer lines are provided having one of said properties, compared to those having the other property, in patterns which form said codewords thereby embedding the absolute data in the incremental scale track. Alternatively the width or spacing of the lines in the incremental scale track are varied, thereby embedding the absolute data in the incremental scale track.

10

15 Preferably the lines having the first of second property extend substantially across the width of the scale. The absolute data on the scale may be palindromic.

20

The absolute data may be divided into discrete codewords, the beginning of each codeword being marked by an identical start symbol. The absolute data in both the codewords and the start symbols may consist of binary codes.

25

Preferably the codewords define N unique positions over a length of scale, this length being repeated such that the (N+1)th position is the same as the 1st position etc.

30

A second aspect of the invention provides a system for measuring absolute position comprising a measurement scale and a scale reader relatively movable with respect to each other;

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

4

wherein the measurement scale comprises an incremental scale track with lines having a first property generally alternating with lines having a second property and absolute position data is embedded in the incremental scale track in the form of discrete codewords;

and the scale reader includes a light source to illuminate the scale, an incremental readhead to determine the incremental position and an imaging system and a detector system to determine the absolute position.

Preferably the readhead used to determine the incremental position is a filtering readhead.

15

Preferably each absolute bit of data has a value of 1 or 0, wherein there is a clock bit with a value of 0 between each absolute data bit; wherein it is determined whether any bit of the scale is an absolute data bit or a clock bit by measuring the values of the $(m+1)^{th}$ bits on either side of that bit, where m = any even integer; and wherein the values of these bits are summed together, such that if the sum is smaller than a predetermined value the bit is an absolute data bit.

25

Preferably a look-up table is used to determine a coarse absolute position by comparing absolute position data extracted from the scale with absolute codewords in the look-up table. The absolute position may be determined to within one incremental scale pitch by combining the coarse absolute position with the position of the start of the first codeword in the data extracted by the detector system and the location of the first complete data bit in the data extracted by

30

WO 02/084233

PCT/GB02/01629

5

the detector system. The absolute position may be determined to within a fraction of the scale pitch by combining the absolute position with the incremental position.

5

Brief Description of the Drawings

Preferred embodiments of the present invention will be illustrated by way of example with reference to the accompanying drawings, wherein:

10

Figs 1A-1D are schematic representations of an incremental scale, an absolute scale and a hybrid scale;

15

Figs 2A and 2B are schematic representations of codewords on the palindromic scale;

Figs 3A and 3B show the cyclic nature of the scale;

20

Figs 4A and 4B are schematic representations of the palindromic and cyclic scale with two and three palindromic codewords per repeat length respectively;

Fig 5 is a schematic representation of a hybrid scale and a row of pixels from the imaging optics in the readhead; and

Fig 6 is a micro lens array;

25

Fig 7 is a flow diagram for the process of determining coarse absolute position; and

Fig 8 is a schematic representation of the readhead and scale.

30

Description of Preferred Embodiments

Fig 1A represents a length of incremental scale 10. The incremental scale has a repeating pattern of reflective lines 12 and non-reflective lines 14. Fig

WO 02/084233

PCT/GB02/01629

6

18 shows a length of absolute scale 16. This scale also comprises reflective 12 and non-reflective lines 14 each representing a bit of absolute data which are combined to form a code to define the absolute position.

Figs 1C and 1D show the incremental and absolute scales of 1A and 1B combined 18. One bit of absolute data is embedded per pitch of the incremental scale. In this example the coding is binary and thus there are two possible states 1 and 0. For state 1 in the absolute scale the reflective line in the incremental scale is left in its original state 20. For state 0 the reflective line of the incremental scale is removed, as shown at 22.

Removal of parts of the incremental pattern degrade the signal from the incremental channel, however the effect is not serious if the damage is consistent along the scale. In this example reflective lines of the incremental scale are removed resulting in a drop in the incremental signal, but also a drop in the background light by the same ratio. However, if reflective lines are added instead this would result in a drop in the incremental signal by the same amount but also an increase in the background light.

Absolute data may be embedded in the incremental scale without the addition or removal of incremental lines. Instead the width of lines or the distance between lines may be varied.

As the absolute data is embedded in the incremental scale, the scale may be prismatic. This means that it

WO 02/084213

PCT/GB02/01629

7

is uniform along its width as seen in Fig 1D, instead of using parallel data tracks as in previously known hybrid incremental and absolute scales. This overcomes three shortcomings of "parallel-track" systems.

- 5 Firstly, it is possible for the readhead to be mounted either way round with respect to the scale. Secondly, yawing of the readhead is not so critical as there is not the need to keep parallel tracks phased relative to each other. Thirdly, there is no restriction on the
10 lateral offset tolerance of the readhead with respect to the scale.

- The absolute data embedded in the incremental scale is designed to be palindromic. This means that the
15 absolute data on the scale is precisely the same if read from either end of the code sequence. Fig 2A shows two codewords A and B on a scale. If the scale is rotated by 180°, as shown in Fig 2B, the scale will be identical. Codeword B is identical to the original
20 A and is in the same position, whilst codeword A is identical to the original B and again is in the same position. This enables a scale to be mounted on a surface in either orientation without the need for reprogramming or the need to change the orientation of
25 the readhead.

- The absolute data on the scale defines unique positions over a certain length which may be several metres long. Beyond that length the coding repeats seamlessly so
30 that the coding has no beginning or end. If the scale defines N unique positions along its length from start to finish, then by making the (N+1)th position the same as the 1st position and, the (N+2)th position the same as the 2nd position etc, the scale becomes cyclic. The

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

8

length of one cycle of the scale code is known as the repeat length. Lengths of scale longer than the repeat length may be used, although positions defined along it will no longer be unique. As shown in Fig 3A, a length of scale defines unique positions X,Y over a length d. These positions are repeated over length d2.

Cyclic coding enables the scale to be manufactured continuously and stocked in long lengths. Any length subsequently cut will contain valid coding over its entire length. For example, Fig 3B shows a length of scale with a certain length d being repeated cyclically. If a length L is cut it forms a continuous scale wherever it has been cut.

There is one bit of absolute data every pitch of the incremental scale. The bits are grouped into codewords and start symbols. Each start symbol is identical and serves to mark the start of each codeword, whereas the codewords are used to define the absolute position. The choice of start symbols is constrained as the chosen sequence for the start symbol must not occur within any of the codewords otherwise part of the codeword could be misidentified as a start symbol. Furthermore, no codeword must end with the beginning of the start symbol or vice versa as this could result in the position of the codeword being misinterpreted by a few bits.

For the scale to be both palindromic and cyclic, the start symbols must also be palindromic. In addition, only two codewords within a repeat length may be palindromic without having any repeated codewords. Both scales 18 shown in Figs 4A and 4B are cyclic and

WO 02/084213

PCT/GB02/01629

9

palindromic with a repeat length d. The scale in Fig 4A has two palindromic codewords ABA and LML without any codewords being repeated in length d. The scale in Fig 4B has three palindromic codewords, ABA, PGP and LML. However PGP appears twice in the scale within the repeat length d.

Several strategies are employed to ensure that the codewords used do not degrade the metrological accuracy of the incremental channel. Some of these strategies involve not using codewords which badly affect the incremental signal.

The first strategy is not to use codewords which do not contain equal numbers of 1s and 0s. For example a 16-bit codeword should contain exactly eight 1s and eight 0s. This ensures that the incremental signal size remains constant as the readhead traverses the scale. It may be possible to relax this constraint to codewords having between seven and nine 1s and 0s and possibly further.

The second strategy involves not using codewords which contain a string of more than a predetermined number of 1s or 0s in a row. For example, the maximum number of 1's in a row may be six, or more preferably four. These long uniform sequences cause the incremental Lissajous, formed by two sinusoidal outputs in quadrature, to be momentarily de-centred as the readhead passes over them.

The third strategy does not involve the non-use of any codewords. To minimise the effect of the absolute data on the incremental channel, the scale must appear

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

10

uniform over the length of the incremental channel's reading window which is typically 50 bits long. This is achieved by rearranging the order of codewords along the scale to ensure that any sequence of fifty consecutive bits has as near as possible the same number of 1s (or equally 0s).

The readhead used to read the scale comprises at least one light source to illuminate the scale and at least one detector to determine the incremental and absolute positions.

A simplified version of the readhead 54 and scale 18 is shown in Fig 8. To read the incremental part of the scale there is provided a light source LS1, index grating 52 and detector 50 (e.g. photo diode array). To read the absolute part of the scale there is provided a light source LS2, imaging lens 25 and detector 26 (e.g. linear image sensor).

Separate detectors may be used or alternatively both detectors could be incorporated onto one chip (i.e. the same pixels detecting both the absolute and incremental positions). Likewise, common or separate light sources and lens arrays may be used.

A filtering readhead, as described in European Patent No. 0207121, is suitable for use in determining the incremental position. In such a readhead, each point on the scale produces fringes at a detector in the form of a sinusoidal wave. Each fringe at the detector is produced by many points on the scale. If parts of the scale are missing, the signal at the detector will be slightly degraded but this effect is averaged out and

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

11

the frequency and sinusoidal shape remain the same. Only the base frequency of the scale is detected and harmonics, caused by missing parts of the scale, are filtered out.

5

Use of a filtering readhead therefore allows a non-diffraction quality scale to be used and the readhead is still able to determine incremental position to within one pitch of the scale when selected scale markings are missing or added. Thus the filtering readhead is able to read the hybrid absolute and incremental scale as if it was a purely incremental scale.

10

15. An optical detector system consisting of a linear array of pixels may be used to determine the absolute position. The maximum size of each pixel is set by the Nyquist criterion, but preferably smaller pixels are used.

20

A microlens array 27, as shown in Fig. 6, may be used to image the scale 18 onto the detector 26 (e.g. the optical detector system). Each lens 28 is actually a pair of lenses 28A, 28B acting as an erect imaging

25

system to produce a continuous image. Use of a microlens array produces a much smaller working distance between the scale 18 and detector 26 than in conventional imaging systems.

30

The absolute data needs to be extracted from the hybrid absolute and incremental scale. A test is required to determine whether the value of any particular pixel represents a data bit or not. Absolute data is only embedded on the reflective lines of the original

WO 02/084213

PCT/GB02/01629

12

incremental scale. These data bits may now have a value of 0 or 1 depending on whether the reflective lines have been removed or left remaining. The original non-reflective lines on the incremental scale have remained unchanged. These have a value of 0 and are referred to as clock bits. There is a clock bit between each data bit.

A typical scale 18, as shown in Fig 5, may have a 40µm pitch with, for example, 5.12 pixels 24 per pitch on the detector and unity optical magnification between the scale and detector. There will therefore be either a data bit (1 or 0) or a clock bit (C) at every 2.56 pixels on the detector (i.e. every half scale pitch). If a pixel under test (P) represents a data bit then every $(n+1)^{th}$ position on either side of P will be a clock bit. Therefore there should be clock bits at the following pixel locations:

..., ..., (-5×2.56) , (-3×2.56) , (-1×2.56) , $(+1 \times 2.56)$, $(+3 \times 2.56)$, $(+5 \times 2.56)$, ...

As fractional pixels do not exist, the following pixels should be closest to the clock data relative to the pixel under test:

-23, -18, -13, -8, -3, +3, +8, +13, +18, +23.

The values at these locations (i.e. between 1 and 0) are summed together. The lower the total the more likely the pixels are to represent clock bits and therefore the more likely the pixel under test is to represent a data bit. As the exact magnification is not known (because of variation due to the rideheight of

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

13

the readhead for example), it is only useful to search for clock bits within a certain distance of the pixel under test. Searching for clock bits too far from the pixel under test may result in them being out-of-step with their true positions due to magnification errors.

It is not possible to locate the first data bit in the image by this method as it is not possible to read sufficient pixels on either side of this data bit. For the same reasoning it is not possible to locate the last data bit on the image by this method. The data bits further towards the middle of the image are determined by the above process then, assuming the magnification is constant, data bits at each end can be read out as the number of pixels between each data bit is now known.

At this stage a block of extracted data has been created. The flow diagram in Fig 7 summarises how the coarse absolute position may be determined from the extracted absolute data. This block of extracted absolute data 32 should contain a little over 4 codewords of data and at least 3 start symbols. Each start symbol is identical and in this example is 9 bits long. The extracted data is scanned 34 and every 9-bit block is compared with the start symbol sequence 36. The goodness of match of a 9-bit block of data is determined by inverting each bit of the data block if its corresponding bit in the start symbol sequence is 1. The values of all 9 bits in the block are summed and the result is the goodness of match 38, the lower the value the better the match. If the start symbols are not correctly spaced (i.e. with exactly one codeword between each start symbol) then the image must

WO 02/08423

PCT/GB02/01629

14

be corrupted. In this case the image is discarded and the process restarts from the beginning with a new image 30.

- 5 Once the start symbols have been found 40, the locations of three complete codewords in the extracted data are calculated. This may be done by the use of a look-up table permanently stored in the readhead's memory which is used to decode the three codewords.
- 10 Each series of three consecutive words in the look-up table is compared with the three words from the image 42. In each case a goodness of match is calculated 44 in the same way as for calculating the start symbols. The best match position in the look-up table gives the
- 15 coarse absolute position of the readhead. The goodness of match coefficient of the second best match is also stored and this coefficient is then used to determine the trustworthiness of the coarse position 46. If the best match is only marginally better than the second
- 20 best match then the reported coarse position is untrustworthy. Whereas if the best match was much better than the second best match, the degree of confidence is higher. Thresholds can be applied to this value to determine whether the readhead uses the
- 25 data to calculate the coarse absolute position 48 or scraps the result and starts again with a new image 30.

- Assuming that the data is deemed to be sufficiently trustworthy, the final step is to calculate the
- 30 absolute position. Four pieces of data are required. These are (a) the coarse position from the look-up table (to the nearest codeword on the scale), (b) the position of the start of the first word in the extracted data (to the nearest scale pitch), (c) the

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

15

position of the start of the first complete data bit in the original image (to the nearest detector pixel) and (d) the phase of the Lissajous from the incremental channel (to the unit of resolution).

5

(a) and (b) are sufficient to calculate the absolute position of the readhead to the nearest scale pitch. (d) is used to determine the position within one scale pitch to the required final resolution. However it is possible to get a position error of one scale pitch from this information alone. (c) contains sufficient information to check for this and correct the position if necessary.

15 This invention may be carried out using a light-transmissive scale instead of a light-reflective scale.

Although this embodiment describes a linear scale and readhead, this invention could also be suitable for a rotary scale or a two-dimensional scale.

Furthermore, the scale is not limited to binary coding. Multi-level coding may also be used. For example if the scale comprises a glass plate with chrome deposited on it, the code could be produced by leaving clear glass for the clock bits, using half-density chrome for the "0" data bits and full-density chrome for the "1" data bits. Alternatively the "0" data bits may comprise dotted lines and the "1" data bits may comprise solid lines.

This invention would also be suitable for non-optical scales, for example capacitative or magnetic scales.

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

16

CLAIMS

1. A measurement scale comprising:
an incremental scale track comprising a series of
5 lines having a first property, and generally
alternating lines having a second property;
characterised in that absolute position data is
embedded in the incremental scale track in the form of
discrete codewords.
- 10 2. A measurement scale according to claim 1 wherein
the lines having a first property are light reflecting
or light transmitting and wherein the lines having a
second property are non-reflecting or non-transmitting.
- 15 3. A measurement scale according to any preceding
claim wherein extra or fewer lines are provided having
one of said properties, compared to those having the
other property, in patterns which form said codewords,
20 thereby embedding the absolute data in the incremental
scale track.
4. A measurement scale according to claim 1 or claim
2 wherein the width or spacing of the lines in the
25 incremental scale track are varied, thereby embedding
the absolute data in the incremental scale track.
5. A measurement scale according to any preceding
claim wherein the lines having the first or second
30 property extend substantially across the width of the
scale.
6. A measurement scale according to any preceding
claim wherein the absolute data on the scale is

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

17

palindromic.

7. A measurement scale according to any preceding claim wherein the beginning of each codeword is marked
5 by a start symbol, each start symbol being identical.

8. A measurement scale according to any preceding claim wherein the codewords define N unique positions over a length of scale, this length being repeated such
10 that the (N+1)th position is the same as the 1st position.

9. A measurement scale according to any preceding claim wherein the absolute data consists of binary
15 codes.

10. A measurement scale according to claim 9 wherein each codeword has substantially the same number of 1's and 0's.
20

11. A measurement scale according to claim 9 wherein each codeword only contains strings of six or less continuous 1's or 0's.

12. A measurement scale according to claim 9 wherein the codewords are arranged such that within any length of scale of predetermined length there are
25 substantially the same number of 1's.

13. A system for measuring absolute position comprising a measurement scale and a scale reader relatively movable with respect to each other;
30 wherein the measurement scale comprises an incremental scale track with a series of lines having a

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

18

first property generally alternating with lines having a second property and absolute position data is embedded in the incremental scale track in the form of discrete codewords;

5 and the scale reader includes a light source to illuminate the scale, an incremental readhead to determine the incremental position and an imaging system and a detector system to determine the absolute position.

10

14. A system for measuring absolute position according to claim 13 wherein the lines having a first property are light reflecting or light transmitting and wherein the lines having a second property are non-reflecting or non-transmitting.

15

15. A system for measuring absolute position according to any of claims 13-14 wherein the readhead used to determine the incremental position is a filtering readhead.

20

16. A system for measuring absolute position according to any of claims 13-15 wherein the detector system comprises a linear array of pixels.

25

17. A system for measuring absolute position according to any of claims 13-16 wherein a microlens array is used to image the scale onto the detector system.

30

18. A system for measuring absolute position according to any of claims 13-17 wherein:
each absolute bit of data has a value of 1 or 0;
wherein there is a clock bit with a value of 0
between each absolute data bit;

WO 02/084213

PCT/GB02/01629

19

wherein it is determined whether any bit of the scale is an absolute data bit or a clock bit by measuring the values of the $(m+1)^{\text{th}}$ bits on either side of that bit, where m = any even integer;

5 and wherein the values of these bits are summed together, such that if the sum is smaller than a predetermined value the bit is an absolute data bit.

19. A measurement system according to any of claims 13-18 wherein the beginning of each codeword is marked by a start symbol, and wherein the identification of the start symbols on the scale is used to locate the absolute codewords on the scale.

15 20. A system for measuring absolute position according to any of claims 13-19 wherein a look-up table is used to determine a coarse absolute position by comparing absolute position data extracted from the scale with absolute codewords in the look-up table.

20 21. A system for measuring absolute position according to claim 20 wherein:

the goodness of match between the codeword in the look-up table and the codeword extracted from the scale is determined by:

25 comparing the sequence of an n -bit block of extracted data with the n -bit codeword in the look-up table;

wherein each bit of extracted data whose corresponding bit in the codeword in the look-up table is 1 is inverted;

and wherein the values of the n bits of extracted data are summed together;

such that if the summed value is low, the match is

WO 02/084213

PCT/GB02/01629

20

good.

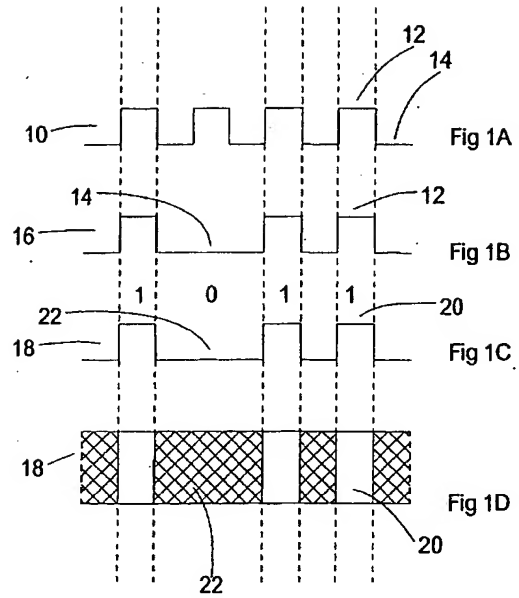
22. A system for measuring absolute position according
to any of claims 20-21 wherein the absolute position
5 may be determined to within one incremental scale pitch
by combining the coarse absolute position with the
position of the start of the first codeword in the data
extracted by the detector system and the location of
the first complete data bit in the data extracted by
10 the detector system.

23. A system for measuring absolute position according
to claim 22 wherein the absolute position may be
determined to within a fraction of a scale pitch by
15 combining the absolute position with the incremental
position.

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

1/8



WO 02/084223

PCT/GB02/01629

2/8

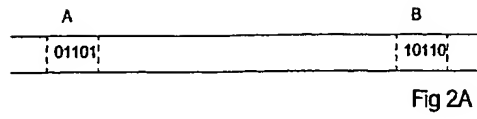


Fig 2A



Fig 2B

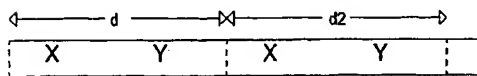


Fig 3A

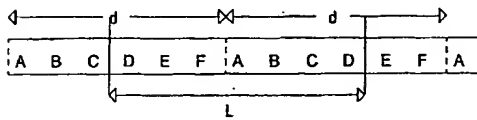


Fig 3B

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

3/6

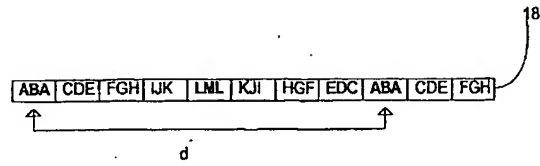


Fig 4A

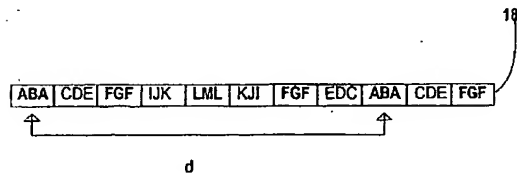


Fig 4B

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

4/8

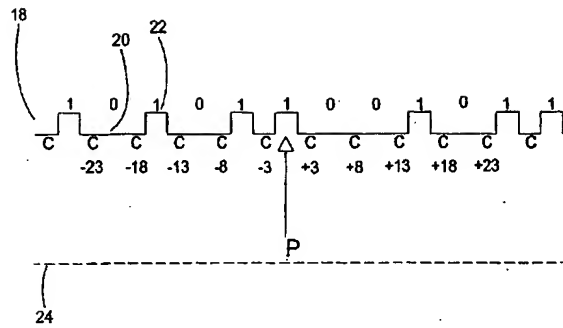
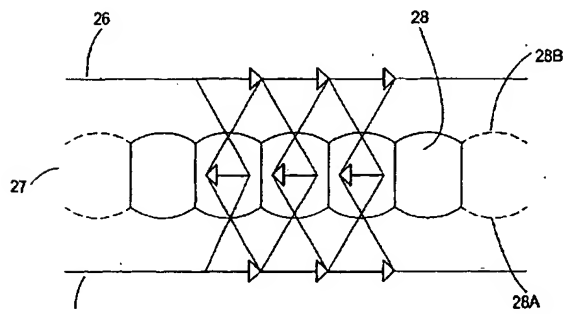


Fig 5



WO 02/084223

PCT/GB02/01629

5/6

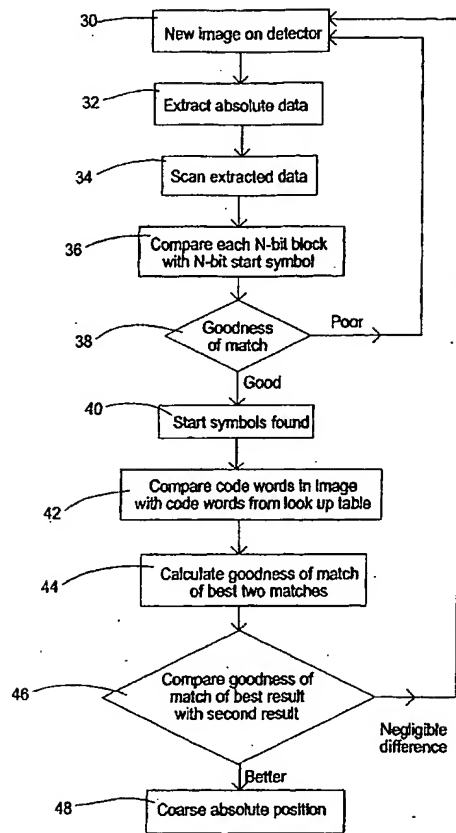


Fig 7

WO 02/084223

PCT/GB02/01629

6/6

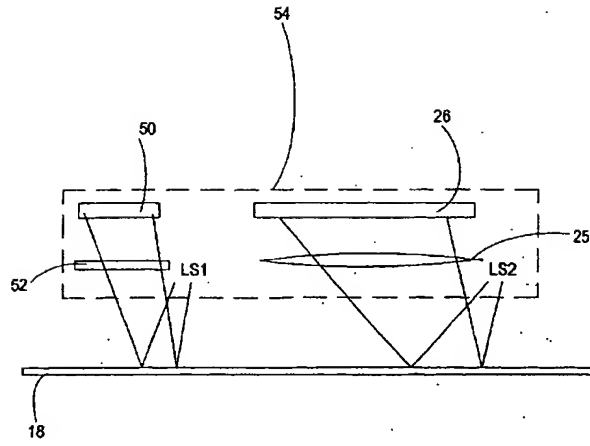


Fig 8

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Inventor's Application No. PL 11/08 02/01629
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 601D5/347 601D5/245		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 601D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Character of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 44 36 784 A (ZEISS CARL FA) 27 April 1995 (1995-04-27) column 3, line 14 -column 5, line 14; figures	1,2,4,5, 9,12-14, 16,21-23
A	DE 38 18 044 A (KUEHNE CHRISTOPH DIPL PHYS) 30 November 1989 (1989-11-30) the whole document	1,2,13, 14,21-23
A	EP 0 503 716 A (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV) 16 September 1992 (1992-09-16) cited in the application the whole document	1,2,5,9, 13,14, 21-23
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the wordings of item C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "I" earlier document for purposes of an or otherwise International filing date "L" document which may have effects on priority claims or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (as specified) "O" document relevant to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to substantiate the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 3 July 2002		Date of mailing of the international search report 17/07/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5010, Postfach 2 85 - 2280 HV München Tel. (+49-89) 240-0400, Telex 21 051 000 00 Fax (+49-89) 240-0010		Authorized officer Ramboer, P

Form PCT/ISA/210 (second sheet) July 2002

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int. Application No. PL 11/08 02/01629
C. (Classification) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Origin of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 207 121 A (RENISHAW PLC) 7 January 1987 (1987-01-07) cited in the application the whole document	1, 15

Form PCT/ISRP/2740 (pre-issuance of revised sheet) (July 1987)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inventor:
 PC 3 02/01629

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
DE 4436784	A	27-04-1995	DE	4436784 A1		27-04-1995
DE 3818044	A	30-11-1989	DE	3818044 A1		30-11-1989
EP 0503716	A	16-09-1992	EP	0503716 A1		16-09-1992
			DE	69222072 D1		16-10-1997
			DE	69222072 T2		05-03-1998
			JP	5071984 A		23-03-1993
			US	5279044 A		18-01-1994
EP 0207121	A	07-01-1987	DE	3575345 D1		15-02-1990
			EP	0207121 A1		07-01-1987
			WO	8603833 A1		03-07-1986
			JP	1030090 B		16-06-1989
			JP	61503051 T		25-12-1986
			US	4959542 A		25-09-1990

Form PCT/ISAR/10 (patent family member(s) (July 1992))

フロントページの続き

(81) 指定国 * AP (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OA (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 *イアン ロバート ゴードン・イングラム

.....イギリス エスエヌ 1 4 8 エヌエックス ウィルトシャー チッペンハム マーシュフィールド
..... リングスウェル (番地なし)

Fターム(参考) 2F077 AA25 *AA46 *AA47 *NN27 *PP19 *QQ15 *RR03 *RR11 *RR23 *TT61 *

•UU22 •

• *2F103 BA35 *BA37 *BA44 *CA01 *CA02 *CA03 *DA01 *DA07 *DA11 *EA02 •

•EB22 *EC01 •